Cofímetro
digital industrial

Marder, Felipe - Lombardero, Oscar G. - Aquino, Carlos

Dto. de Ingeniería Eléctrica - Facultad de Cs. Exactas y Naturales y Agrimensura - UNNE.
9 de Julio 1449 2º Piso Lab. Nº 7 - (3400) Corrientes - Argentina.
E-mail: fmarder@exa.unne.edu.ar

RESUMEN

El presente trabajo con carácter de desarrollo tecnológico, forma parte del proyecto PI Nº 673 aprobado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNNE, titulado "Aplicaciones Industriales basadas en Microcontroladores". El mismo consiste en el diseño e implementación de un dispositivo para la medición automática de la diferencia de fase entre tensión y corriente sobre una carga reactiva, con determinación simultánea y señalización lumínica del carácter inductivo o capacitivo de la misma. Realiza adicionalmente el cálculo del coseno del ángulo de desfasaje aplicando el desarrollo en serie de Taylor. El sistema está basado en un microcontrolador PIC16F84 de Microchip, que realiza la detección de las señales conformadas de tensión y corriente, midiendo el tiempo entre ambos cruces por cero y presentando el resultado de la medición en un display de dos dígitos de 7 segmentos.

ANTECEDENTES

Desde que se fijaron las nuevas tarifas eléctricas por parte de la Secretaría de Energía para los usuarios propietarios de industrias con equipamientos medianos y grandes, se volvió una necesidad la medición continua de la cantidad de energía consumida en la planta, como uno de los factores importantes en la determinación de los costos que deben ser absorbidos por los productos o servicios que allí se generaban. Este costo de la energía consumida, no sólo es función de la cantidad de maquinaria electromecánica funcional instalada (calefactores, motores, transformadores, iluminación, etc.), sino también y desde el punto de vista eléctrico, por el tipo de impedancia involucrada : resistiva pura, reactiva pura o combinación de ambas. El hecho que los equipos en su conjunto presente características reactivas implica un desfasaje entre tensión y corriente que trae como consecuencia una potencia que no es consumida o traducida en trabajo mecánico sino que sólo está presente en la red, disminuyendo el rendimiento de la misma. Las nuevas tarifas establecen beneficios o penalizaciones en función del valor de desfasaje entre tensión o corriente, lo que se conoce como el valor del cos ö, el cual debe estar por encima de 0,95 para optar con bonificaciones que pueden rondar el 2,5% del valor total del consumo registrado. Si recordamos los valores instantáneos de la tensión y corriente senoidal sobre una carga reactiva que provoca un desfasaje de ö grados tenemos

$$v(t) = \sqrt{2}V\cos(wt + j) \qquad p(t) = v(t)\cdot i(t) = VI\cos(j) + \cos(2wt + j)$$

$$i(t) = \sqrt{2}I\cos(wt) \qquad P_{activa} = VI\cos(j)$$

$$P_{reactiva} = VI\sin(j)$$

siendo **V** e **I** los valores eficaces de tensión y corriente respectivamente. Se define el factor de potencia como la relación

$$factor\ de\ potencia = \frac{potencia\ real\ o\ activa\,[KWh]}{potencia\ total\,[KVA]}$$

Las empresas que ofrecen sistemas de corrección del factor de potencia, presentan tablas para el cálculo o estimación del tipo de banco de capacitores a utilizar, según el cos ö actual y el deseado, y el consumo o carga instalada. El presente trabajo es de cierta manera una continuación del proyecto titulado "Diseño de un fasímetro analógico industrial" realizado previamente por los autores, el cual realizaba la medición de fase en forma analógica. Se presenta aquí el diseño y la implementación de un sistema para medir el desfasaje en grados y también el cos ö en forma sencilla y económica, pudiendo hacerse extensiva una corrección automática del factor de potencia agregando un mínimo de electrónica adicional. Este dispositivo está basado en un microcontrolador PIC 16F84 de Microchip Inc. que realiza el cálculo del desfasaje entre tensión y corriente traduciendo el tiempo dado en microsegundos a grados sexagesimales, calculando y visualizando posteriormente los valores correspondientes del cos ö . Se realizó un estudio para determinar si el error introducido en la estimación de la función coseno, según la cantidad de términos considerados en la serie de Taylor, se traduce en un error apreciable del método, de manera de compararlo con el empleo de una tabla que contenga la secuencia de los valores del cos ö. También se consideró el error de redondeo en el procesado de los datos en el microcontrolador.

MATERIALES Y METODOS

Se empleó un transformador comercial de 3,6VA con salida de 12V@300mA para alimentar todo el sistema, y para contar con una tensión proporcional a la aplicada en la carga. Se utilizó una resistencia de sensado, implementada con alambre de Constantán (Cu 50-60% Ni 40-50%) de 1mm de diámetro, en un enrollamiento de 4,5 vueltas para lograr un valor aproximado de 0,1 ohmios. Con la misma se obtenía una segunda tensión de trabajo proporcional a la corriente por la carga, que permitía medir conjuntamente con la anterior, el desfasaje entre tensión y corriente con cargas de hasta 660WVA Para extender este alcance, se confeccionó una segunda resistencia de sensado con alambre de Constantán de 2mm de diámetro, con el cual se llega a niveles de corriente de hasta 10A (2200VA).
Se emplearon dos diodos Led de diferentes colores para señalizar el tipo o carácter de la impedancia equivalente de la carga, o sea si es inductiva o capacitiva. Para ello era necesario determinar si la corriente adelanta fasorialmente a la tensión o viceversa. Esta tarea la realiza el microcontrolador ya que tiene posibilidad de determinar el instante relativo en que aparece una u otra de las señales, al contar con accesos diferentes para ambas.
La base del método consiste en la medición del tiempo que existe entre dos puntos de referencia de las señales de tensión y corriente que tienen la misma forma senoidal. Se toma por una cuestión práctica los cruces por cero ya que son fácilmente detectables con amplificadores operacionales comparadores, obteniendo a la salida de los mismos pulsos rectangulares cuyos flancos ascendentes señalizan el momento inicial para la cuenta en microsegundos por parte del microcontrolador. Esta duración resulta directamente proporcional al desfasaje en grados sexagesimales entre ambos parámetros eléctricos.

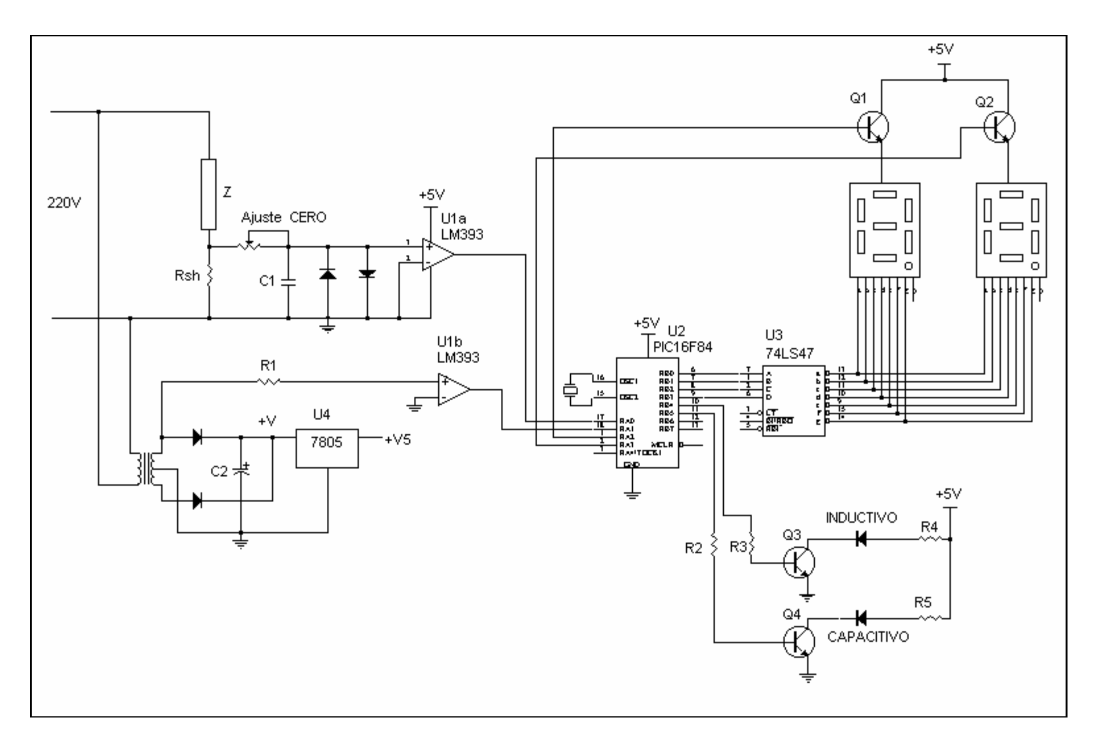


Figura Nº 1. Diagrama del circuito medidor de fase y cos ö

En la Figura Nº 1 tenemos el diagrama esquemático completo del circuito implementado, donde podemos observar la resistencia de sensado R_{Sh} en serie con la carga. La tensión originada sobre la misma es proporcional a la corriente nominal sobre dicha carga, y es ingresada al detector de cruce por cero implementado con uno de los dos comparadores que contiene el chip LM393. El segundo comparador actúa como detector de cruce por cero de la señal que proviene del transformador reductor de tensión.
Se agregó una red de retardo RC a la entrada del circuito de corriente a los efectos de compensar posibles adelantos en fase que podrían provenir como error desde el transformador reductor, comportándose como un ajuste fino del cero del instrumento.

El diagrama de flujos del programa del microcontrolador que maneja el sistema, se puede observar en la Figura Nº 2.

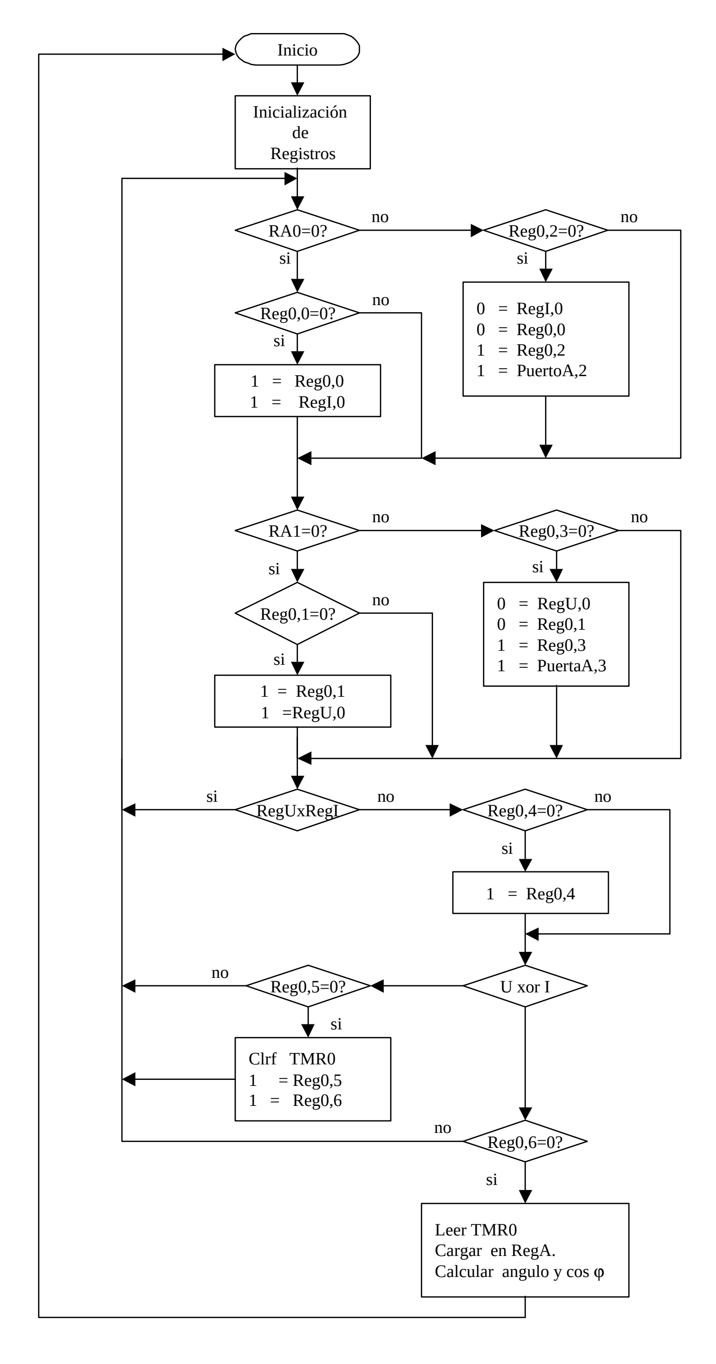


Figura Nº 2. Diagrama de flujo del programa principal del microcontrolador

El micro sensa permanentemente el estado "alto" o "bajo" de los pulsos que provienen de los comparadores LM393, verificando los requisitos para habilitar el conteo del período de tiempo entre ambos flancos. Dicha condición sucede cuando ambos niveles de salida (V_{01} de U1a y V_{02} U1b en Fig Nº1) se encuentren simultáneamente en el nivel de cero antes de iniciar la temporización. El programa también determina al mismo tiempo cual de las salidas de los dos comparadores pasa primero al estado alto, determinando unívocamente el carácter capacitivo o inductivo de la carga, activando el LED correspon-diente. El PIC realiza la cuenta con precisión de 1 microsegundo, pero la limitación del tamaño de los registros internos obliga a realizar un preseca-lamiento previo para no producir un desborde de los mismos. Se adoptó en este caso el valor 32, que se fija me-diante un registro específico, y que correspondería a un ángulo de 0,57 grados. Si tenemos en cuenta que para los 20ms del período de una señal senoidal de 50Hz de frecuencia de la red le corresponden 360 grados sexage-simales, la relación de transformación es 20/360 = 0,55ms/º. La estimación del cálculo del cos ö se realiza aplicando una expansión acotada de la serie de Taylor para la función coseno, tomando los tres primeros términos. Se comprobó que el error introducido en la simplificación era menor al 1% hasta los 67º, lo que significa un error despreciable para el método, sobre todo teniendo en cuenta que los desfasajes a medir en el campo difícilmente superan los 45 grados sexagesimales.

ENSAYOS REALIZADOS

Una vez conectado el sistema se comprobó en el osciloscopio que el transformador de tensión introduce un pequeño desfasaje, fácilmente compensado con la red RC, y se contabilizaron en el mismo los períodos de tiempo. Se ensayaron cuatro cargas resistivas puras a los efectos de verificar el cero y de comprobar la sensibilidad del sistema con la resistencia de sensado de 0,1 ohm. Se estableció el valor mínimo de corriente en 100mA, y un valor máximo de 10A, suficiente para cubrir un amplio rango de potencias y por lo tanto de equipos industriales. Se ajustó la duración del tiempo de presentación de los dígitos en el display para evitar el parpadeo. En la Tabla Nº1 se pueden observar los valores medidos y calculados de las mediciones

Pot carga [W]	U_E [V]	U_L [V]	U_C [V]	U_R [V]	I_R [mA]	ΔT[µs]	ö y cos ö		L [Hy]	C [µF]
40	232	-	193	139	180	1600	28	0,89	-	4
60	232	-	176	144	220	2200	39	0,78	-	4
100	232	-	218	76	260	3200	57	0,55	-	4
140	232	-	14	234	190	3800	67	0,41	-	4
350	232	-	145	185	1410		38	0,79	-	33
310	232	-	132	195	1300		34	0,85	-	33
250	232	-	108	208	1100		27	0,90	-	33
150	232	-	68	225	690		16	0,97	-	33
40	232	76	-	214	180		19	0,95	1,3	-
200	232	215	-	75	520		70	0,36	1,3	-

CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó un cofímetro digital basado en un microcontrolador PIC16F84, con detección de cruce por cero para la determinación del tiempo de retardo o desfasaje entre tensión y corriente sobre una carga reactiva. Se empleó un transformador reductor de tensión y una resistencia de sensado en serie con la carga para generar las señales de comparación que ingresan al dispositivo. Finalmente se realizó el contraste con un equipo patrón, de acuerdo a normas nacionales IRAM. Los resultados fueron satisfactorios, pudiéndose establecer un margen de detección de desfasaje entre tensión y corriente con un error máximo del 2%, valor que puede ser mejorado ya que para niveles bajos de corriente presuponemos que existe un potencial de contacto que altera la detección de cruce por cero. También se detectó un corrimiento del valor del coseno dentro de las 2 centésimas, fácilmente corregible al tratarse de un error sistemático. Cabe aclarar que el sensado de la corriente también puede efectuarse a través de transformadores de intensidad (TI), a los efectos de contar con valores proporcionales a la corriente en una instalación eléctrica, sin abrir el circuito para colocar sensores Shunt como en el caso aquí descrito. En estos momentos el grupo de trabajo ha iniciado una etapa de desarrollo que contempla el diseño de este tipo de transformadores a los fines que se adecuen a otras metodologías de medición. Esto permitirá medir corrientes desde 5A, extendiendo las posibilidades de estos dispositivos y eliminando el problema del potencial de contacto. Se pretende también en una próxima etapa, adecuar este instrumento para que funcione como corrector automático del factor de potencia, controlando un banco de capacitores.

BIBLIOGRAFIA

1. Marder F, Lombardero OG., “Fasímetro analógico industrial”.
2. Microchip, Manual del Usuario
3. Breant P. , *Medidas Eléctricas* , Ed Aguilar
4. Packman E.N. *Medidas Eléctricas* Ed Alsina
5. Cooper W., Helfrick A. *Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición*
6. Intusoft *Magnetics Designer Application Notes*
7. Fasímetro POWERTEK Hojas de datos y especificaciones
8. Fasímetro Clarke-Hess Hojas de datos y especificaciones
9. IRAM Norma 2344-2 Transformadores de medición. Parte 2 Transformadores de tensión inductivos
10. IRAM Norma 2227 Transformadores de medición. Protocolos de ensayo